

VOLBA KONSTRUKČNÍHO SYSTÉMU DOMU A ZALOŽENÍ PASIVNÍHO DOMU Z TEPELNĚTECHNICKÉHO A EKONOMICKÉHO POHLEDU

Ing. Martin Šauer | vedoucí oddělení DEKPROJEKT s.r.o.
martin.sauer@dek-cz.com | 733 168 758



Ve společnosti DEKPROJEKT při navrhování a optimalizaci pasivních domů často stojíme před otázkou, jaký je optimální způsob provedení paty zdiva ve stále nejčastěji používaném způsobu založení domu na základových pasech. Určitě si dovedeme představit perfektní detail z tepelnětechnického hlediska, ale má takovýto detail i reálný ekonomický základ? Není to jen málo muziky za hodně peněz? Tento článek posuzuje různá řešení paty zdiva, a to nejen z hlediska tepelnětechnického, ale hlavně i z hlediska ekonomického. Cílem pak je najít rozumnou rovnováhu mezi tepelnětechnickými vlastnostmi a finanční náročností na provedení tohoto detailu.

Pro zjištění vlivu různého způsobu provedení paty zdiva a různých konstrukčních systémů na tepelné ztráty jsme provedli výpočet hodnoty tepelné propustnosti řešeným detailem. Výpočet tepelné propustnosti byl proveden v programu DEKSOFT – Tepelná technika 2D. S hodnotou tepelné propustnosti můžeme dále pracovat podle následujícího vztahu:

$$Q = L2D \cdot L \cdot 24 \cdot D$$

Kde:

L2D – Hodnota tepelné propustnosti vypočtená v DEKSOFT – Tepelná technika 2D [W/m.K]
L – délka řešeného detailu [m]

D – vytápěcí denostupně (pro danou lokalitu)

Získáme tím hodnotu energetické náročnosti řešeného detailu v kWh za rok. V případě, kdy máme vyčíslenou energetickou náročnost Q [kWh/rok] již není problém tuto hodnotu převést na finanční vyjádření a to pouhým vynásobením

jednotkovou cenou energie. V našem případě budeme uvažovat vytápění plynem (1 kWh = 1,80 Kč s DPH).

U každé z řešených variant jsme zároveň provedli ocenění navrženého řešení v cenové soustavě ÚRS. Výsledkem je tak vždy celková cena (materiál + práce) za běžný metr řešeného detailu. Do celkové ceny jsme zakomponovali finanční náročnost celého modelovaného detailu (včetně zemních prací, zdění, drenáže apod.). Všechny uvedené ceny jsou včetně DPH.

Pro konkrétní vyčíslení uvažujeme rodinný dům, projektovaný v Praze, o obdélníkovém půdorysu s délkami jednotlivých stran 12 m a 9 m. Hodnoty do výše uvedeného vztahu budou následující:

$$L = 42 \text{ m}$$

$D = 2949 \text{ K.dny}$ (údaj z otopné sezóny 2017/2018) (lokalita Praha, průměrná teplota v interiéru $t_{\text{in}} = 20^\circ\text{C}$, průměrná denní teplota venkovního vzduchu pro zahájení a ukončení dodávky tepla $t_{\text{em}} = 13^\circ\text{C}$).

V posuzovaných detailech se vypočtená hodnota energetické náročnosti pohybuje okolo 1 400 kWh/rok (viz tabulky níže). Pokud budeme uvažovat pasivní dům s energetickou náročností 4 000 kWh/rok (měrná potřeba tepla na vytápění 20 kWh/m².rok, energeticky vztáhná plocha 200 m²), může energetická náročnost řešených detailů působit vzhledem k energetické náročnosti celého domu jako neúměrně vysoká. Přímé porovnání těchto hodnot není korektní, jelikož v celkové energetické náročnosti pasivního domu jsou započítány též solární

tepelné zisky a vnitřní zisky od osob a spotřebičů. Pro korektní porovnání je nutné tyto zisky do celkové energetické náročnosti neuvažovat. Poté měrná potřeba tepla celého domu vzroste na cca trojnásobek a energetická náročnost řešených detailů pak představuje cca 12 % z celkové energetické náročnosti pasivního domu.

Jak jsme psali výše, zabýváme se v našem článku založením domu na základových pasech. Popularita tohoto systému založení domu je po řadu let takřka neměnná a stále se tak jedná o nejčastější způsob založení rodinného domu. Vodorovná tepelná izolace je umístěna v souvrství podlahy a nejkritičtější místem se tak stává pata obvodové konstrukce. Na výsledných tepelněizolačních vlastnostech paty zdiva má přirozeně vliv zvolený konstrukční systém obvodových stěn objektu a způsob založení první řady zdiva. Součinitel prostupu tepla podlahy byl ve všech případech uvažován $U=0,13 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Tento způsob založení objektu jsme uvažovali u následujících konstrukčních systémů:

- **Obvodové zdivo z tepelněizolačních dutinových keramických tvárnic Porotherm bez kontaktního zateplení. Posouzeno ve čtyřech variantách v závislosti na použité první tvarovce**
 - Zdivo z keramických dutinových tvárnic, soklová keramická tvárnice, sokl a základ zateplen z vnější strany
 - Zdivo z keramických dutinových tvárnic, soklová keramická tvárnice, sokl a základ zateplen z vnější strany, vnitřní zateplení na soklové tvárnici (detail převzat



od výrobce)

- zdívo z keramických dutinových tvárnic, soklová keramická tvárnice, vnitřní zateplení na soklové tvárnici (detail převzat od výrobce)
- zdívo z keramických dutinových tvárnic, soklová keramická tvárnice na tvarovce z pěnového skla (detail převzat z katalogu konstrukčních detailů pro pasivní domy)

- **Obvodové zdívo z dutinových keramických tvárnic Porotherm s kontaktním zateplením.**

- zateplené zdívo z keramických dutinových tvárnic
- zateplené zdívo z keramických dutinových tvárnic, první vrstva je z pěnového skla

- **Obvodové zdívo z vápenopískových cihel s kontaktním zateplením (posouzeno v pěti variantách v závislosti na použité první tvarovce viz odstavec)**

- pata zdíva nijak neupravena; první tvarovka je z vápenopískových tvárnic
- pata zdíva z pórobetonové tvárnice
- pata zdíva z jedné řady tepelněizolačních vápenopískových tvárnic (detail dle výrobce)
- pata zdíva ze dvou řad tepelněizolačních vápenopískových tvárnic (detail dle výrobce)
- pata zdíva z pěnového skla (detail převzat z katalogu konstrukčních detailů pro pasivní domy)

- **Obvodové zdívo z tepelněizolačních tvárnic z pórobetonu bez kontaktního zateplení**

- **Obvodové zdívo z pórobetonových tvárnic s kontaktním zateplením**
- **Stěna ze železobetonu s kontaktním zateplením**

U systémů bez kontaktního zateplení bylo uvažováno se součinitelem prostupu tepla dle výrobcem udávaných hodnot. V případě systémů s kontaktním zateplením byla tloušťka tepelného izolantu volena tak, aby výsledný součinitel prostupu tepla celé konstrukce byl $U = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$.

1. TEPELNĚIZOLAČNÍ KERAMICKÉ TVÁRNICE POROTHERM BEZ KONTAKTNÍHO ZATEPLENÍ

Na výsledné tepelněizolační vlastnosti řešeného detailu má vliv způsob založení první řady zdiva. Jednotlivé posuzované

varianty s výslednými hodnotami energetické a finanční náročnosti jsou shrnuty v následující tabulce:

Tabulka 01 | Obvodové zdivo z tepelněizolačních keramických dutinových tvárnic Porotherm bez kontaktního zateplení

Konstrukční systém		Tloušťka [mm]	Součinitel prostupu tepla [W/m ² .K]	
Porotherm 44T Profi		440	0,14	
Způsob založení první řady zdiva	D0		Lineární činitel prostupu tepla [W/m.K]	0,028
			Tepelná propustnost [W/m.K]	0,521
			Tepelná propustnost detailu na celém objektu [W/K]	21,882
			Roční energetická náročnost detailu [kWh]	1548,72
			Roční energetická náročnost vyjádřená ve financích	2 787,70 Kč
			Investiční náklady na běžný metr detailu	16 113 Kč
			Investiční náklady celkem	676 746 Kč
	D1		Lineární činitel prostupu tepla [W/m.K]	-0,0252
			Tepelná propustnost [W/m.K]	0,456
			Tepelná propustnost detailu na celém objektu [W/K]	19,152
			Roční energetická náročnost detailu [kWh]	1355,50
			Roční energetická náročnost vyjádřená ve financích	2 439,90 Kč
			Investiční náklady na běžný metr detailu	16 672 Kč
			Investiční náklady celkem	700 224 Kč
	D2		Lineární činitel prostupu tepla [W/m.K]	-0,024
			Tepelná propustnost [W/m.K]	0,469
			Tepelná propustnost detailu na celém objektu [W/K]	19,698
			Roční energetická náročnost detailu [kWh]	1394,15
			Roční energetická náročnost vyjádřená ve financích	2 509,46 Kč
			Investiční náklady na běžný metr detailu	16 448 Kč
			Investiční náklady celkem	690 816 Kč
	D3		Lineární činitel prostupu tepla [W/m.K]	-0,0156
			Tepelná propustnost [W/m.K]	0,494
			Tepelná propustnost detailu na celém objektu [W/K]	20,748
			Roční energetická náročnost detailu [kWh]	1468,46
			Roční energetická náročnost vyjádřená ve financích	2 643,23 Kč
			Investiční náklady na běžný metr detailu	17 507 Kč
			Investiční náklady celkem	735 294 Kč

Rozhodující ukazatele - investiční náklady a roční energetická náročnost vyjádřená ve financích jsou shrnuty v následující tabulce.

Vyhodnocení

	D0	D1	D2	D3
Roční energetická náročnost vyjádřená ve financích	2 787,70 Kč	2 439,90 Kč	2 509,46 Kč	2 643,23 Kč
Investiční náklady celkem	676 746 Kč	700 224 Kč	690 816 Kč	735 294 Kč
Roční úspora na vytápění	0,00 Kč	347,79 Kč	278,23 Kč	144,47 Kč
Cenové navýšení	0 Kč	23 478 Kč	14 070 Kč	58 548 Kč
Prostá doba návratnosti [roky]		67,51	50,57	405,27

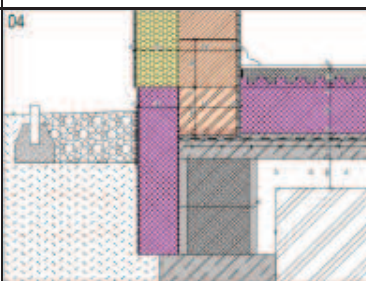
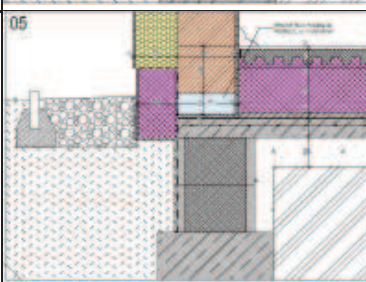
Provedení detailu paty zdiva dle detailu 0 sice není z energetického hlediska optimální řešení, jedná se o energeticky nejhorší řešení, ale investice, která by energetické hledisko vylepšila, nemá návratnost nižší než 50 let. Do celkového porovnání (na konci článku) budeme tedy uvažovat s provedením dle detailu D0. Při uvažované životnosti stavby 100 let má za určitých okrajových podmínek smysl detail D0 energeticky vylepšovat například způsobem uplatněným v detailu D1 a D2. Příkladem takových podmínek jsou domy umístěné v lokalitě s nižšími venkovními teplotami anebo v případech vyšších nákladů na energie než je uvažováno.

2. KERAMICKÉ TVÁRNICE POROTHERM S KONTAKTNÍM ZATEPLOVACÍM SYSTÉMEM

Úprava detailu paty zdiva vložení tvárnice z pěnoskla nemá za žádných okrajových podmínek finanční opodstatnění. Vliv na energetickou náročnost je při ceně tohoto opatření zcela zanedbatelný. Do konečného porovnání uvažujeme tedy detail D4 viz následující tabulky.

U varianty kontaktního zateplení keramických tvárnice jsme neuvažovali se soklovou tvárnici vyplněnou tepelným izolantem. Tato tvárnice má sice lepší součinitel tepelné vodivosti ve svislém směru než tvárnice bez výplně tepelnou izolací (keramické tvárnice jsou anizotropní materiál), ale tento vliv je v případě vnějšího zateplení zanedbatelný.

Tabulka 02| Obvodové zdivo z tepelněizolačních keramických dutinových tvárnice Porotherm s kontaktním zateplením

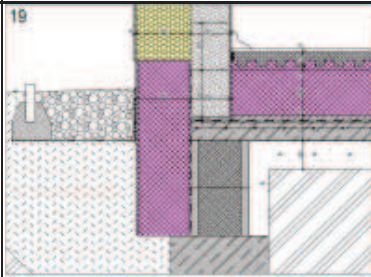
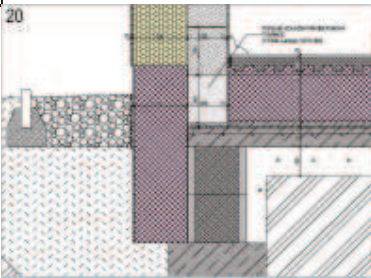
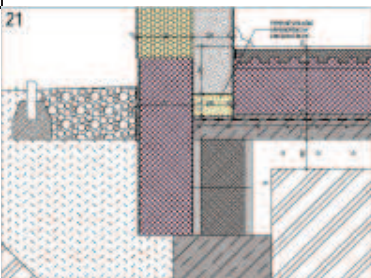
Konstrukční systém		Tloušťka [mm]	Součinitel prostupu tepla [W/m ² .K]	
Porotherm 30 Profi Dryfix + ETICS		300 + 220	0,12	
Způsob založení první řady zdiva	D4		Lineární činitel prostupu tepla [W/m.K]	-0,0067
			Tepelná propustnost [W/m.K]	0,464
			Tepelná propustnost detailu na celém objektu [W/K]	19,488
			Roční energetická náročnost detailu [kWh]	1379,28
			Roční energetická náročnost vyjádřená ve financích	2 482,71 Kč
			Investiční náklady na běžný metr detailu	15 132 Kč
			Investiční náklady celkem	635 544 Kč
	D5		Lineární činitel prostupu tepla [W/m.K]	-0,0157
			Tepelná propustnost [W/m.K]	0,445
			Tepelná propustnost detailu na celém objektu [W/K]	18,69
			Roční energetická náročnost detailu [kWh]	1322,80
			Roční energetická náročnost vyjádřená ve financích	2 381,05 Kč
			Investiční náklady na běžný metr detailu	15 808 Kč
			Investiční náklady celkem	663 936 Kč

Vyhodnocení

	D4	D5
Roční energetická náročnost vyjádřená ve financích	2 482,71 Kč	2 381,05 Kč
Investiční náklady celkem	635 544 Kč	663 936 Kč
Roční úspora na vytápění	0,00 Kč	101,66 Kč
Cenové navýšení	0 Kč	28 392 Kč
Prostá doba návratnosti [roky]		279,28

3. VÁPENOPÍSKOVÉ CIHLY S KONTAKTNÍM ZATEPLOVACÍM SYSTÉMEM

Tabulka 03| Obvodové zdivo z vápenopískových cihel s kontaktním zateplením

Konstrukční systém		Tloušťka [mm]	Součinitel prostupu tepla [W/m ² .K]	
Vápenopískové cihly + ETICS		200 + 280	0,12	
Způsob založení první řady zdiva	D6		Lineární činitel prostupu tepla [W/m.K]	0,0122
			Tepelná propustnost [W/m.K]	0,452
			Tepelná propustnost detailu na celém objektu [W/K]	18,984
			Roční energetická náročnost detailu [kWh]	1343,61
			Roční energetická náročnost vyjádřená ve financích	2 418,50 Kč
			Investiční náklady na běžný metr detailu	15 320 Kč
			Investiční náklady celkem	643 440 Kč
	D7		Lineární činitel prostupu tepla [W/m.K]	-0,022
			Tepelná propustnost [W/m.K]	0,417
			Tepelná propustnost detailu na celém objektu [W/K]	17,514
			Roční energetická náročnost detailu [kWh]	1239,57
			Roční energetická náročnost vyjádřená ve financích	2 231,23 Kč
			Investiční náklady na běžný metr detailu	16 289 Kč
			Investiční náklady celkem	684 138 Kč
	D8		Lineární činitel prostupu tepla [W/m.K]	0,009
			Tepelná propustnost [W/m.K]	0,448
			Tepelná propustnost detailu na celém objektu [W/K]	18,816
			Roční energetická náročnost detailu [kWh]	1331,72
			Roční energetická náročnost vyjádřená ve financích	2 397,10 Kč
			Investiční náklady na běžný metr detailu	15 838 Kč
			Investiční náklady celkem	665 196 Kč
	D9		Lineární činitel prostupu tepla [W/m.K]	0,004
			Tepelná propustnost [W/m.K]	0,443
			Tepelná propustnost detailu na celém objektu [W/K]	18,606
			Roční energetická náročnost detailu [kWh]	1316,86
			Roční energetická náročnost vyjádřená ve financích	2 370,34 Kč
			Investiční náklady na běžný metr detailu	16 308 Kč
			Investiční náklady celkem	684 936 Kč
	D10		Lineární činitel prostupu tepla [W/m.K]	-0,012
			Tepelná propustnost [W/m.K]	0,427
			Tepelná propustnost detailu na celém objektu [W/K]	17,934
			Roční energetická náročnost detailu [kWh]	1269,30
			Roční energetická náročnost vyjádřená ve financích	2 284,73 Kč
			Investiční náklady na běžný metr detailu	16 536 Kč
			Investiční náklady celkem	694 512 Kč

Rozhodující ukazatele jsou opět shrnuty v následující tabulce.

Vyhodnocení

	D6	D7	D8	D9	D10
Roční energetická náročnost vyjádřená ve financích	2 418,50 Kč	2 231,23 Kč	2 397,10 Kč	2 370,34 Kč	2 284,73 Kč
Investiční náklady celkem	643 440 Kč	684 138 Kč	665 196 Kč	684 936 Kč	694 512 Kč
Roční úspora na vytápění	0,00 Kč	187,27 Kč	21,40 Kč	48,16 Kč	133,77 Kč
Cenové navýšení	0 Kč	40 698 Kč	21 756 Kč	41 496 Kč	51 072 Kč
Prostá doba návratnosti [roky]		217,32	1016,51	861,70	381,80

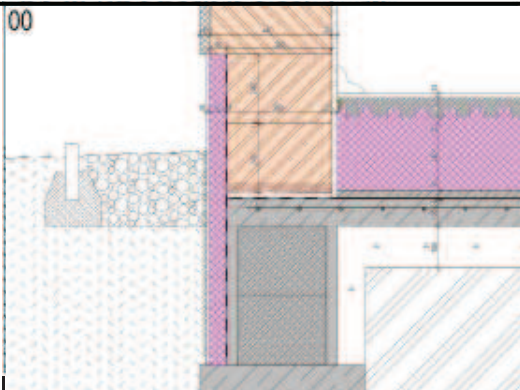
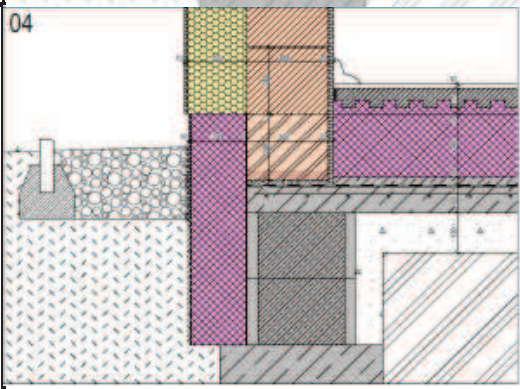
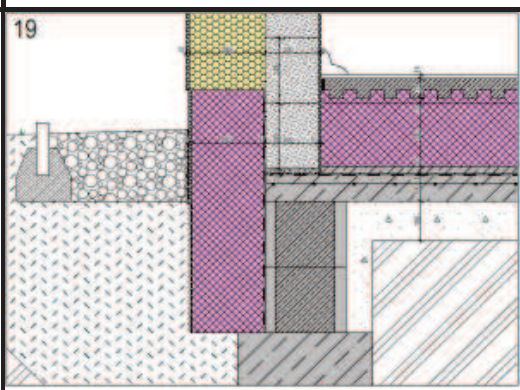
V tomto případě je závěr podobný jako u keramických tvárnic. Byť u detailu D6 (bez jakékoli úpravy v místě paty zdiva) nevychází nejlepší energetická náročnost, z finančního hlediska se jedná o optimální řešení a jakákoli úprava tohoto detailu nemá ekonomickou návratnost. Do konečného porovnání uvažujeme tedy detail D6.

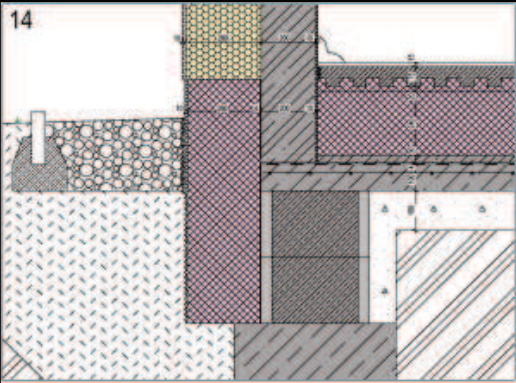
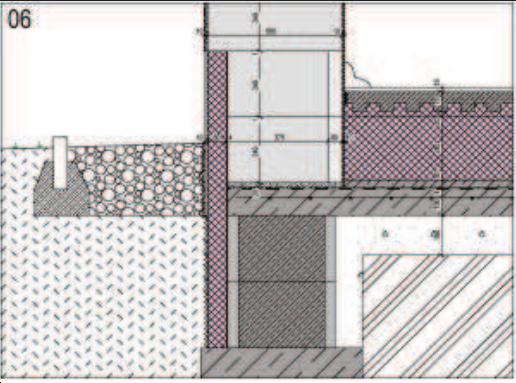
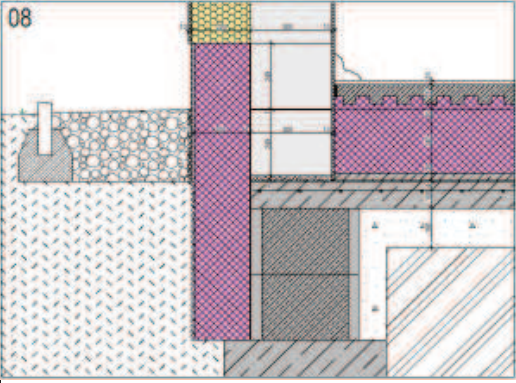
4. VÝBĚR ROZUMNÝCH ŘEŠENÍ POSUZOVANÉHO DETAILU MEZI KONSTRUKČNÍMI SYSTÉMY

Na předchozích stránkách jsme u konstrukčních systémů, u kterých je více možných způsobů řešení paty zdiva, vybrali pro daný konstrukční systém nejvhodnější řešení. Do následující tabulky ještě

doplníme konstrukční systém z pórobetonových tvárnic (bez a se zateplením) a konstrukční systém ze železobetonu opatřeného kontaktním zateplovacím systémem.

Tabulka 04 | Shrnutí

D0	Konstrukční systém Porotherm 44T PROFÍ se soklovou tvárnici 30 S PROFÍ		Lineární činitel prostupu tepla [W/m.K]	0,028
			Tepelná propustnost [W/m.K]	0,521
			Tepelná propustnost detailu na celém objektu [W/K]	21,882
			Roční energetická náročnost detailu [kWh]	1548,72
			Roční energetická náročnost vyjádřená ve financích	2 787,70 Kč
			Investiční náklady na běžný metr detailu	16 113 Kč
			Investiční náklady celkem	676 746 Kč
D4	Konstrukční systém Porotherm 30 Profí Dryfix tl. 300mm s ETICS tl. 220mm		Lineární činitel prostupu tepla [W/m.K]	-0,0067
			Tepelná propustnost [W/m.K]	0,464
			Tepelná propustnost detailu na celém objektu [W/K]	19,488
			Roční energetická náročnost detailu [kWh]	1379,28
			Roční energetická náročnost vyjádřená ve financích	2 482,71 Kč
			Investiční náklady na běžný metr detailu	15 132 Kč
			Investiční náklady celkem	635 544 Kč
D6	Konstrukční systém z vápenopískových tvárnic tl. 200mm s ETICS tl. 280mm		Lineární činitel prostupu tepla [W/m.K]	0,0122
			Tepelná propustnost [W/m.K]	0,452
			Tepelná propustnost detailu na celém objektu [W/K]	18,984
			Roční energetická náročnost detailu [kWh]	1343,61
			Roční energetická náročnost vyjádřená ve financích	2 418,50 Kč
			Investiční náklady na běžný metr detailu	15 320 Kč
			Investiční náklady celkem	643 440 Kč

D11	Konstrukční systém ze železobetonu tl. 200mm s ETICS tl. 280mm		Lineární činitel prostupu tepla [W/m.K]	0,0702
			Tepelná propustnost [W/m.K]	0,512
			Tepelná propustnost detailu na celém objektu [W/K]	21,504
			Roční energetická náročnost detailu [kWh]	1521,97
			Roční energetická náročnost vyjádřená ve financích	2 739,54 Kč
			Investiční náklady na běžný metr detailu	18 115 Kč
			Investiční náklady celkem	760 830 Kč
D12	Konstrukční systém z pórobetonových tvárnic YTONG lambda tl. 500mm		Lineární činitel prostupu tepla [W/m.K]	-0,0415
			Tepelná propustnost [W/m.K]	0,461
			Tepelná propustnost detailu na celém objektu [W/K]	19,362
			Roční energetická náročnost detailu [kWh]	1370,36
			Roční energetická náročnost vyjádřená ve financích	2 466,66 Kč
			Investiční náklady na běžný metr detailu	15 255 Kč
			Investiční náklady celkem	640 710 Kč
D13	Konstrukční systém z pórobetonových tvárnic tl. 300mm s ETICS tl. 220mm		Lineární činitel prostupu tepla [W/m.K]	-0,0259
			Tepelná propustnost [W/m.K]	0,411
			Tepelná propustnost detailu na celém objektu [W/K]	17,262
			Roční energetická náročnost detailu [kWh]	1221,74
			Roční energetická náročnost vyjádřená ve financích	2 199,12 Kč
			Investiční náklady na běžný metr detailu	15 599 Kč
			Investiční náklady celkem	655 158 Kč

Vzhledem ke skutečnosti, že volba konstrukčního systému není dána pouze energetickým hlediskem, ale je nutné vzít v potaz též další požadavky, které vycházejí z vlastností stavby (statika, akustika, materiálová dostupnost...), se zde nepouštíme do závěrečného shrnutí. Výše uvedená tabulka napříč konstrukčními systémy je uvedena pro energetické porovnání.

ZÁVĚREČNÉ VYHODNOCENÍ

Výše uvedeným posouzením jsme si ukázali, že nejefektivnější řešení je vždy takové, které má nejnižší investiční náklady. Použití drahých materiálů pro přerušení tepelného mostu (např. tvárnice z pěnoskla) za současných podmínek nevygeneruje takovou energetickou úsporu, která by navýšení ceny detailu obhájila.

V našem článku uvažujeme se zdrojem tepla na plyn. Změna zdroje vytápění výše uvedené závěry zásadně nezmění. Aby došlo ke snížení návratnosti některého z energetických opatření na úroveň alespoň poloviny životnosti celé budovy, musela by cena energií, při současných cenách stavebních materiálů a práce, stoupnout přibližně desetinásobně.

<Ing. Martin Šauer>
<Ing. Nikola Levá>